Prof. Dr. Durmuş Ali Demir – Prof. Dr. Namık Kemal Pak***
*İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü -
**Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü

Büyük Patlama ve evrenin genişlemesi

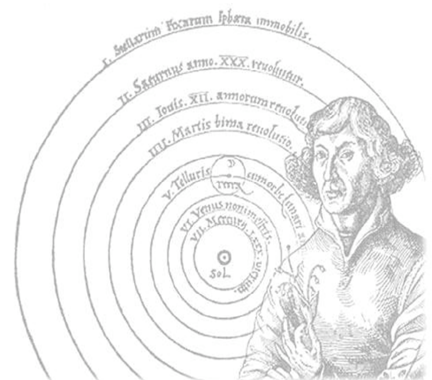
İçinde kendimizi ve çevremizi anlamlandırdığımız “uzay” ve “zaman” kavramları Büyük Patlama ile başlamış mefhumlar olarak alınabilir. Son derece yüksek sıcaklık ve yoğunluktaki ve de son derece küçük hacimdeki bir “noktacık” olan evrenin “gümlemesi” için temel etki kuantum dünyasına has kendiliğinden (spontan) patlamadır.

A. Giriş

Gökyüzü tarih boyunca insanoğlu için merak konusu olmuştur. İnsanlar yaşadıkları dünyanın nasıl bir şey olduğunu, nasıl meydana geldiğini, gökyüzündeki yıldızların ve tüm evrenin nasıl oluştuğunu anlamaya çalışmışlardır. Eski Mısır uygarlığındaki piramitlerden Maya uygarlığındaki tapınaklara kadar birçok yerde gökyüzü ile ilgili tasvirlere rastlamak mümkündür. Evrenin anlaşılması yolunda ortaya atılan devrim niteliğinde üç fikir vardır. İlki Claudius Ptolemy’nin ikinci yüzyılda ortaya attığı “Dünya-merkezli evren modeli”dir.[1] İkincisi on altıncı yüzyılda Nicolaus Copernicus tarafından ortaya atılmış “Güneş-merkezli evren modeli”dir.[2]

Üçüncü ve en kapsamlı fikir ilk kez yirminci yüzyılın başlarında Friedmann ve Lemaître tarafından ortaya atılmış olan Büyük Patlama Kuramı’dır.





Büyük Patlama Kuramı olarak bilinen düşünceye göre evren kabaca 15 milyar yıl önce hayal edilemeyecek kadar “sıcak ve yoğun” bir tekillikten meydana gelmiştir. Evren büyük bir patlama ve onu izleyen genişleme ile meydana gelmiştir.

B. Büyük Patlama Kuramı

Büyük Patlama Kuramı olarak bilinen düşünceye göre evren kabaca 15 milyar yıl önce hayal edilemeyecek kadar "sıcak ve yoğun" bir tekillikten meydana gelmiştir. Evren büyük bir patlama ve onu izleyen genişleme ile meydana gelmiştir. Peki bu bilim adamlarını böylesi bir düşünceye iten sebep nedir? Neden evren bir tekillikten meydana gelmiş olsun ki? Bu sorunun cevabını verebilmek için kuramın temel fikirlerinin doğrulanmasını sağlayan gözlemsel kanıtları anlamamız gerekir.

Kanıt 1: Hubble Yasası ve Evrenin Genişlemesi (Kırmızıya Kayma)

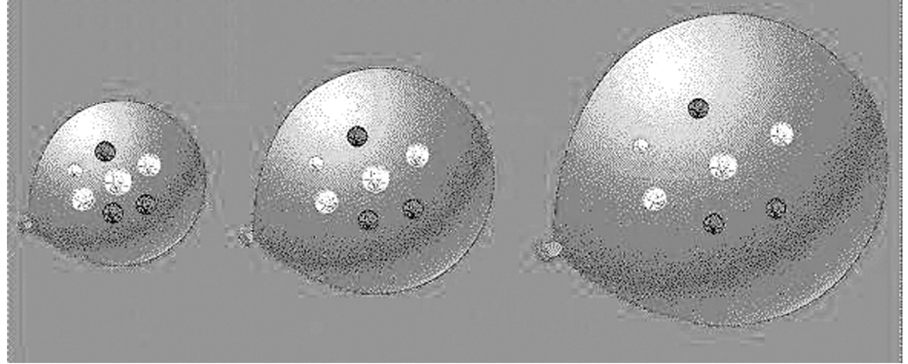
Günlük yaşantımızda karşılaşabileceğimiz bir olaydan yola çıkarak Büyük Patlama Kuramı'nın ilk kanıtını anlamak oldukça basit olacaktır. Bir noktada sabit kaldığınızı düşünün ve bir başka noktadan bir arkadaşınızın birer saniye aralıklarla size top attığını düşünün. Şimdi de arkadaşınızın koşarak size yaklaştığını ve yine saniyede bir top attığını düşünün. İkinci durumda topun size ulaşması daha sık olacaktır yani arkadaşınız için bir değişiklik yokken (topun sıklığı değişmezken) siz birim zamanda daha çok topa maruz kalacaksınız.

Bu durumun tersi de size ulaşan top sayısının birim zamanda azalması olacaktır. Gözlemci ve kaynak arasındaki bu farklılık yayılan ışık için de geçerlidir. Yayılan ışığın enerjisi düştükçe (dalga boyu büyüdükçe) yani uzaklaştıkça ışık kırmızıya kayarken ışığın enerjisi arttıkça ışık maviye kayacaktır. Işık için

Dalga boyu x Frekans = Işık hızı

olup dalga boyu artarken (azalırken) ışığın frekansı azalır (artar). Genel olarak ışığın rengi frekansına (yahut dalga boyuna) bağlı olarak değişir. Yüksek frekanslı (kısa dalga boylu) ışık mor bölgede yer alırken düşük frekanslı (uzun dalga boylu) ışık kırmızı bölgede yer alır. İlk duruma 'maviye kayma' ikincisine ise, 'kırmızıya kayma' diyoruz. Yukarıdaki top örneğini düşünürsek, arkadaşınızın size yaklaşırken top atması topun size ulaşma sıklığı bakımından maviye kaymaya, uzaklaşırken atması ise kırmızıya kaymaya karşılık gelecektir.

> Evrenbilimde yani kozmolojide yirminci yüzyılın devrimi evrenin genişlediğinin keşfi olmuştur. 1920'lerden önce hemen hemen her yerde evrenin durağan olduğuna ve merkezinin de Samanyolu galaksimiz olduğuna inanılıyordu.



Şekil 2

Evrenbilimde yani kozmolojide yirminci yüzyılın devrimi evrenin genişlediğinin keşfi olmuştur. 1920'lerden önce hemen hemen her yerde evrenin durağan olduğuna ve merkezinin de Samanyolu galaksimiz olduğuna inanılıyordu. Bu dünya görüşü sarmal bulutsuların sistematik uzaklaşma hareketi ölçüldüğünde bir sarsıntı geçirdi, sonunda da 1929 yılında Edwin Hubble şu anda evrenin genişlemesi olarak yorumlanan kırmızıya kayma-uzaklık yasasını bulduğunda tümüyle tepetaklak oldu. Bu tek sonuçtan da modern kozmoloji doğdu.[8]

1929 yılında Amerikalı astronom Edwin Powell Hubble'ın Los Angeles'da bulunan Wilson dağında yaptığı bir dizi gözlemin sonuçları 1914 yılında Vesto Melvin Slipher tarafından gösterilen birçok galaksiden gelen ışığın renk spektrumunda kırmızıya kaydığı düşüncesiyle birleştirildi. Hubble, galaksilerden gelen ışığı inceledi ve ışıktaki kayma ile galaksilerin dünyamıza olan uzaklıkları arasında bir ilişki buldu. Hubble yasası olarak bilinen bu fikre göre galaksiler konumumuza oranla bir görünür hıza sahiptirler. Bunlardan en yüksek görünür hızla hareket edenler en uzak olanlarıdır. Sonuç olarak galaksiler arasındaki uzaklık artmakta olduğuna göre, bunların hepsinin geçmişte bir arada olmaları gerekmektedir düşüncesi ileri sürülmüştür.[3] Hubble yasası şu şekilde ifade edilebilir:

Hız = H x Uzaklık

burada H Hubble sabitidir ve değeri 71.0 km/(saniye x Mpc) (1Mpc = 3.084×10^{19} km) dir. "Uzaklık" göreli galaksi uzaklığına tekabül etmektedir. "Hız" ise gözlenen galaksinin hızıdır. Galaksilerin hızla uzaklaşmasını, top örneğinde olduğu gibi yere ulaşan ışığın frekansı azalacağı için, "kırmızıya kayma" yani "evrenin genişlemesi" olarak yorumluyoruz. Bu durumu güzel bir benzetmeyle açıklayabiliriz. Şişmemiş bir çocuk balonunun (Şekil 2) üzerine aralarındaki mesafe 1 cm olacak şekilde birkaç tane nokta işaretleyelim ve balonu yavaşça şişirmeye başlayalım. Bir süre sonra noktalar arasındaki uzaklık artacaktır. Herhangi bir nokta üzerinden bir başka noktaya bakan bir kelebek diğer noktanın kendisinden hızla uzaklaştığını görecektir. İşte bu benzetmeden yola çıkar, kelebeği dünyadaki herhangi bir gözlemci ve uzaklaşan noktayı da bir galaksi olarak düşünürsek evrenin genişlemesini gözümüzde canlandırmış oluruz.[4]

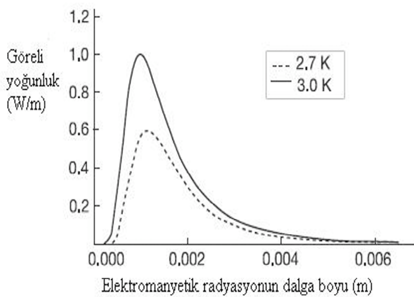
Kanıt 2: Kozmik Mikrodalga Arkaplan Işıması

Büyük patlama teorisini doğrulayan gözlemsel ikinci bir kanıt ise kozmik mik-

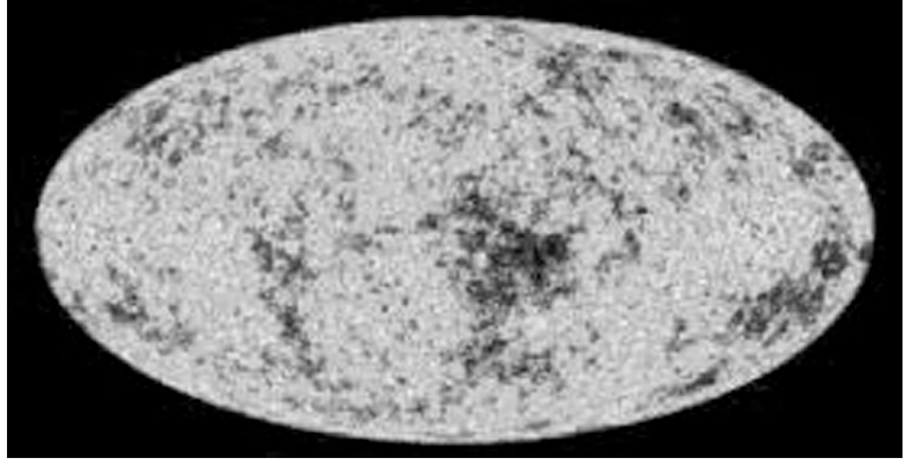
rodalga arkaplan ışımasıdır. 1965 yılında Arno Penzias ve Robert Wilson, Bell laboratuvarında yaptıkları çalışmada bir kozmik arkaplan ışıması keşfettiler. Yani, evreni dolduran, her yönden dünya üzerine gelen, bilinen kaynak türleri ile açıklanamayan bir elektromanyetik dalga yayılımının varlığını kanıtladılar.

Optik teleskopların gözlemlerinden elde edilen fotoğraflardaki yıldızlar ve galaksiler arası siyah görünen ortamda bu arkaplan ışıması bulunmaktadır. Peki bu arkaplanın adı neden mikrodalga konmuştur? Penzias ve Wilson'un yaptığı gözlemler bu ışımanın 2.725 K ("K" Kelvin biriminde sıcaklık olup mutlak sıfır yani 0 K doğrudan -273 santigrad dereceye tekabül eder) sıcaklıkta 1.9 mm'de maksimum değerine ulaşan bir kara cisim ışıması dağılımına sahip olduğunu göstermişlerdir. Dalga boyu 1.9 mm olan elektromanyetik ışıma "mikrodalga" bölgesinde kaldığından Penzias ve Wilson'un keşfine "kozmik mikrodalga arkaplan ışıması" adı verilmiştir.

Büyük Patlamadan hemen sonrasında evren çok sıcak temel parçacıklardan oluşmaktaydı. Bunlar ışık, kuarklar, leptonlar ve kuarkları bir arada tutan zamk parçacığından oluşmaktaydı. Evrenin sıcaklığı düştükçe zamkın kuarklara yapışma şiddeti arttı öyle ki bir süre sonra kuarklar bir araya gelerek hadronları yani proton ve nötronları oluşturdular. Akabinde hadronlar da bir araya gelerek atomları oluşturdular. Ortamda serbest olarak dolaşan yüklü parçacıklar meydana gelen ışımayı kolayca soğuruyorlardı ve ışık bu yüklü parçacıklar sisteminde bir anlamda tuzaklanmış gibi oluyordu. Ne var ki yüklü parçacıklar birleşip de atomları meydana getirdikçe ışığın etkileşebi-



Şekil 3-a



Şekil 3-b

leceği parçacıklar azaldı, yani ışıma daha az soğuruldu ve bu nedenle ışıma uzayda yayıldı. Bu ışıma, ki Penzias ve Wilson'un bulduğu şeyin ta kendisidir, fark edilir edilmez bilim adamları şu soruyu sordular: "Bizler bu ışımayı kullanarak ışımanın ne zaman, nasıl bir kaynaktan başlatıldığını bulabilir miyiz? Böylelikle evrenin atomların ilk oluştuğu ve ışığın atomlardan saçılmayı kestiği eski halinin bir fotoğrafını çekmiş oluruz." Bu sorunun yanıtı hayır değildi ve beklendiği gibi "erken evren" gözlenebilecekti.

Evrenin genişleme nedeni ile enerji kaybeden bir ışımayla dolu olması gerekir ki bu ışıma 2.7 K sıcaklığa sahip kozmik mikrodalga arkaplan ışımasından başka bir şey değildir. Şekil 3-a tipik bir kara cisim ışımasını açıklamaktadır. Şekilden de görülebileceği gibi sıcaklık 2.7 K civarındayken dalga boyu 2 mm ye yakındır. Şekil 3-b evren 379 000 yaşında iken kozmik mikrodalga arkaplan ışımasının sıcaklığının bir fotoğrafıdır. Gözlem uyduları vasıtasıyla alınmış olan bu fotoğrafın gösterdiği üzere sıcaklık dağılımı yüksek hassasiyetle her yönde aynıdır.[3,4,7]

Kanıt 3: Çekirdeklerin sentezlenmesi (Nükleosentez)

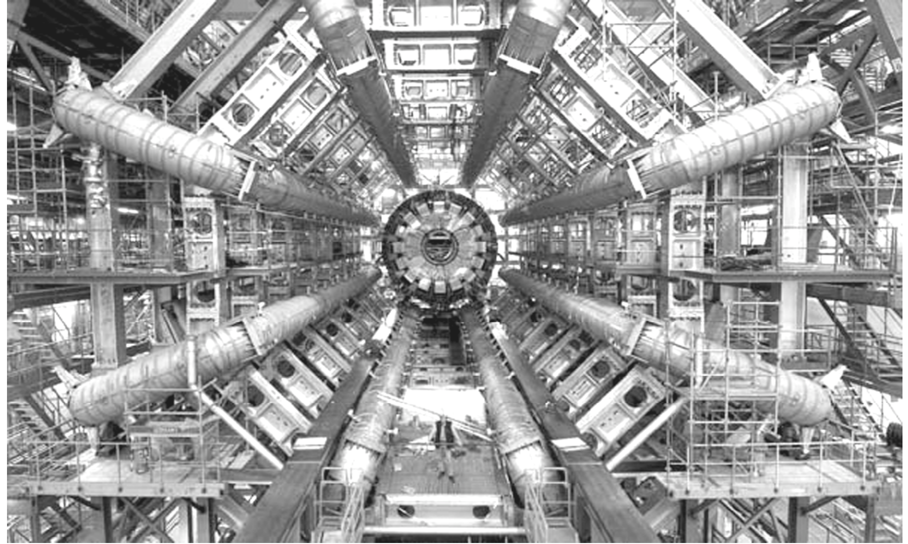
Evrendeki hafif elementlerin fazlalığı büyük patlama teorisinin kanıtı açısından çok önemlidir. Evrende gözlenebilen elementlerin iki yolla yaratıldığı bilinmektedir. Döteryum, helyum ve lityum gibi hafif elementler Büyük Patlama'nın ilk anlarında üretilirken helyumdan ağır elementlerin kökenini çok sonra oluşan yıldızlardan aldığı düşünülmektedir. 1950-60 yılları arasında evrendeki kimyasal elementlerin oluşumuyla ilgili baskın teori Burbidge, Burbidge, Fowler ve Hoyle (BBFH) nin çalışmalarına dayanıyordu. Bu teoriye göre tüm elementler ya yıldızların iç kısmında ya da süpernova patlamaları içerisinde oluşuyordu. Bu teori kısmen başarılı olsa da bir takım eksiklikleri de yok değildi.

İlk olarak, eğer evrende helyum üretim kaynağı yalnızca yıldız ise evrende bulunan maddenin yalnızca küçük bir kısmının helyumdan oluşması gerektiği tahmin edildi çünkü yıldızda helyum yanıp diğer ağır elementlere dönüşür. Ne var ki gözlemler teorinin tahmininden çok daha fazla, evrende yaklaşık % 25 oranında helium olduğunu saptadı. Aynı durum döteryum için de geçerlidir. Yıldızsal teoriye göre döteryum yıldız içinde üretilemez. Bu nedenle BBFH evrendeki helyum ve döteryum fazlalığını açıklamakta yetersiz kalır. George Gamow ve arkadaşlarının çalışmaları evrendeki hafif elementlerin üretimine açıklık getirecek bir teori öne sürmüştür. Evrenin ilk başlarında sıcaklık o kadar yüksekti ki tüm madde iyonize ve parçalanmış haldeydi.

Evrenin oluşumunun ilk üç dakikasında foton sıcaklığı proton ve nötrondan döteryum oluşturacak kadar düşmüştü ($p + n \rightarrow d + \gamma$). Bu zamandan önce sadece foton vardı ve bu an itibariyle bir takım reaksiyonların gerçekleştiği nükleosentez (yani çekirdeklerin sentezlenmesi) sürecine girilmiş oldu. İşte bu sıcaklık-

ta nükleosentez ya da hafif elementler oluşmaya başladı. Çok kısa bir zaman aralığında protonlar ve nötronlar çarpışarak döteryumu, döteryumlar, protonlar ve nötronlarla çarpışarak helyumu ve trityumu oluşturdular. Bu tepkimeler gözlemsel verilerle de uyuşmaktadır. Helyum oranının % 23'ün altında olduğu bir yerin bulunmayışı bu elementin evrenin çok sıcak bir anında meydana geldiğinin kanıtıdır ve bu Büyük Patlama teorisinin köşe taşıdır. Evrendeki sıcaklık bu reaksiyonların gerçekleşmesi için gereken sıcaklığın altına düştüğünde nükleosentez durdu (yaklaşık 13 dakika sonra) ve sonraki 300.000 yıl boyunca bir reaksiyon olmadı. Evren genişlemeye ve soğumaya devam etti öyle ki, evrendeki fotonun enerjisi hidrojeni iyonize edip proton ve nötron oluşturmaya yetecek kadar büyüktü. Foton enerjisi bu değerin altına düşünce elektronlar protonlarla bir araya geldiler ve böylelikle "atom" daha doğrusu hidrojen atomu oluştu. Bu tür 'atomik sentezleme' başladığında evrenin sahip olduğu elektrik yükü azalmaya başladı. Artık fotonun etkileşime gireceği yüklü parçacıklar azalmaya başlamıştır ve evren ışımaya başlamıştır (zira fotonu soğurmak artık zorlaşmıştır). Etkileşmeden kurtulan fotonlar evrenin genişlemesi nedeniyle kırmızıya kayarlar. Bu ışıma da yaklaşık 15 milyar yıl sonra kozmik mikrodalga arkaplan ışıması olarak keşfedilecektir

> Büyük Patlama denildiğinde akla bir şeyin patlaması gibi bir olay gelmektedir fakat bu yanlıştır. Büyük Patlama doğru bir tabirle "uzay-zamanın başlangıcı" demektir. Uzayın bir noktasından bakan biri Büyük Patlama buradan başladı diyemez. İşte bu nedenden ötürü evren uzaydaki herhangi bir yerden başladı diyemeyiz.



CERN Deneyleri'nde aranan Higgs parçacığı da bir şişirici ödevi görebilir.

[3,9] ki bu olgu yukarıda tartışılmıştır.

Büyük Patlama denildiğinde akla bir şeyin patlaması gibi bir olay gelmektedir fakat bu yanlıştır. Büyük Patlama doğru bir tabirle "uzay-zamanın başlangıcı" demektir. Uzayın bir noktasından bakan biri Büyük Patlama buradan başladı diyemez. İşte bu nedenden ötürü evren uzaydaki herhangi bir yerden başladı diyemeyiz. Aynı zamanda Büyük Patlama'dan önceki zamandan bahsetmek de mümkün değildir zira "zaman" kavramı evrenin oluşmasıyla başlar. Ne var ki Büyük Patlama'yla meydana gelen evrenimizin hangi zaman aralıklarında nasıl bir yapıya sahip olduğunu tahmin edebilir ve dolaylı-dolaysız bir takım gözlemlerle yoklayabiliriz.

C. Büyük patlamanın problemleri ve şişme

Yukarıda açıklanan Büyük Patlama Kuramı birçok yönden oldukça başarılı bir model iken bazı olaylar veya gözlemler ile karşılaştırıldığında bir takım tesadüflere veya ince ayarlara ihtiyaç duyar. Bu problemler kısaca şu şekilde özetlenebilir:

1) Homojenlik problemi: Kozmik mikrodalga arkaplanın gök küresi üzerindeki dağılımı öyledir ki kalıt ışığın sıcaklığı her yerde hemen hemen aynıdır. Bu durum Şekil 3-b'de açık bir şekilde gösterilmiştir. Bu homojenlik Büyük Patlama açısından çok önemli bir problemdir zira bu "her yerde aynılık" sayesindedir ki galaksilerin dağılımı homojendir. Eğer mikrodalga dağılımı gözlenenden daha mükemmel bir şekilde homojen olsaydı bu kez madde dağılımındaki küçük kusurlar yıldızlar gibi madde yığınlarının oluşmasına yol açacak kadar büyüklükle çekimsel kararsızlıklara yol açamayacaktı. Bu noktanın açıklanabilmesi için Büyük Patlama Kuramı bir "ince ayar" gerektirmektedir.

2) Düzlük problemi: Gözlemlerimize göre evrenimiz düzdür. Genel Görecelik Kuramı'na göre evrenimiz kapalı (küre gibi), açık (semer yüzeyi gibi) veya düz (odamızın zemini gibi) olabilir. Büyük Patlama Kuramı'na göre şu anda gözlenen evrenin düz olması için başlangıçta da mükemmel derecede düz olması gerekmektedir. Burada bahsi geçen düzlük çok yüksek bir hassasiyet gerektirmektedir ve yine bir "ince ayara" işaret etmektedir.

3) Kalıt Parçacıklar problemi: Küçük mesafelerin fiziğini tarif eden kuramlarımıza göre (büyük birleşik kuram, sicim kuramı veya kuantum çekim kuramı gibi) Büyük Patlama'nın gerektirdiği "sıcak ve yoğun" ortamda birçok egzotik parçacık (örneğin manyetik monopoller, gravitino vs.) üretilmiş olmalıydı. Bu parçacıklar çok kısa bir süre için üretilmiş olsalar bile bunların sayısı oldukça kabarık olmalıydı öyle ki bugünkü evrende birçok egzotik gözlemlemiş olmalıydık. Sonuç olarak, Büyük Patlama böylesi birçok egzo-

tik parçacıklar gözlemlemiş olmamızı gerektirmektedir ancak deneysel olarak henüz hiç böyle parçacıklar gözlemlenmiş değildir.

1980 başlarında Guth ve diğerleri, Büyük Patlama'nın bu problemlerine bir çözüm getirmek amacıyla "şişme" (kozmik enflasyon) ile düzeltilmiş Büyük Patlama Kuramı'nı öne sürmüşlerdir. Genel olarak şişme, standart Büyük Patlama'da olduğu gibi evrenin genişlemesinin "kuvvet yasası" (mesafenin belli bir kuvveti) olarak değil "üstel" olması anlamına gelir. Şişme, evrenin tarihinde çok kısa süren ancak evrenin üstel olarak 10^{30} kat büyüyerek devasa bir şekil aldığı döneme verilen isimdir. Büyük Patlama ile muazzam bir enerji ile etrafa saçılan parçacıkları (radyasyonu) geri toparlayarak bütünlüğü korumaya çalışan kütleçekim kuvvetini yenen bir "basınç kaynağı" olmadan şişme kozmolojisi açıklanamaz. Bu kaynak, Genel Göreceliğe göre yavaş değişen bir skaler (spinsiz) alandır ki buna şişirici (yani inflaton) denmektedir. CERN Deneyleri'nde aranan Higgs parçacığı da bir şişirici ödevi görebilir.

Özetlemek gerekirse şişmenin işlevi şu şekilde açıklanabilir: Başlangıçta çok sıcak olan foton gazının normal termal basıncından başka bir şey yoktur. Sıcaklık, ışınım basıncı negatif basınç ile karşılaştırılabilecek kadar düştüğünde üstel genişlemeye neden olan negatif bir basınç kuvveti ortaya çıktı. Kütle çekiminin uyguladığı çekici kuvvetin tersine, negatif basınç iticidir. Şişmeden sorumlu olan işte bu itici etkidir. Şişme, büyük patlamadan yalnızca 10^{-35} saniye sonra başladı. Üstel genişleme hızı, evren ölçeğinin izleyen her 10^{-35} saniyede iki katına çıktığı anlamına geliyordu. Her ne kadar şişme büyük patlamadan 10^{-35} saniye sonra başladıysa da 10^{-33} saniye sonra

> Yıldızlarda ağır elementler nasıl meydana gelmektedir? İkinci sorunun cevabını nötron yıldızlarını örnek alarak verebiliriz. Yıldız çekirdeğinde enerji üretimi termonükleer tepkimelerle gerçekleşir ve yıldızların hidrostatik dengesi bu tepkimelerle sağlanır.

da durmuştur. Bu noktadan sonra evren genişlemesini, ölçeğini iki katına çıkarmak için gereken zaman sürekli olarak artacak bir biçimde sürdü. Şişme sırasında iki kat genişleme 10^{-35} saniye idi. Bugün ise iki kat genişleme için gereken zaman 10 milyar yıldır.[4,8,10]

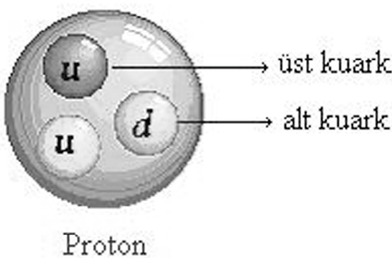
Şişmenin en önemli sonuçları şu şekildedir:

1) Evrenin homojenliği artık anlaşılabilir zira buruşuk bir kağıdın açılınca düzelmesi gibi 10^{30} katlık genişleme evreni homojen hale getirir.

2) Evrenin düzlüğü de benzer şekilde anlaşılabilir zira üstel genleşme evrenin eğriliğini azaltıp onu düzeltir.

3) Evrende kalıt parçacıkların kalmayışı da benzer şekilde bu tür parçacıkların yoğunluklarının azalması ile anlaşılabilir. İçinde 10^{30} manyetik monopol bulunan küçük bir bölge bile şişme sonrası, evrenin ömrü boyunca geçen zaman içinde nerede ise hiç parçacık içermez hale gelir.

Sonuç olarak, şişme (kozmik enflasyon) Büyük Patlama Kuramı'nı daha sağlam, gözlemlerle uyumlu, uyumlu olmak için ince ayarlar gerektirmeyen bir model haline getirmektedir.





Şekil 4: Proton ve nötronun temel parçacıklar olan kuarklardan oluştuğunu gösteren bir resim.

D. Şişmeli Büyük Patlama'nın kronolojisi

Kozmik zaman boyunca evrenin tarihindeki belli başlı olaylar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Zaman ≈ 10^{-43} saniye: Evrenin doğum anı denilebilecek bu zamandaki boyutu bir protondan bile küçük (yani bir metrenin milyar kere milyonda biri) ve sıcaklığı 1032 K civarındadır. Uzay zamanın bu safhasında kuantum titrenimleri bugün varlığına tanık olduğumuz galaksilerin, yıldızların, gezegenlerin tohumları niteliğindedir.

Zaman ≈ 10^{-34} saniye: Evren bu anlarda şişme (kozmik enflasyon) safhasına girmiş ve büyüklüğünü 10^{30} kat artırmıştır. Evren adeta fotonlardan, kuarklardan ve leptonlardan meydana gelen yaklaşık 1027 K sıcaklığında bir çorba gibidir bu aşamada.

Zaman ≈ 10^{-12} saniye: Evren bu anlarda kuarklar ile zamk parçacıklarının oluşturduğu bir çorba (plazma) şeklindedir. CERN'deki LHC-ALICE Deneyi'nde bu çorba gözlemlenmeye çalışılacaktır.

Zaman ≈ 10^{-4} saniye: Bu anda kuarklar bir araya gelerek hadronları (protonlar ve nötronlar) ve bunların karşıt-parçacıklarını meydana getirirler. Evren daha yavaş genişlemeye ve soğumaya başlamıştır. Parçacıklar ve antiparçacıklar birbirleriyle çarpışarlar ve foton ve diğer parçacıklara dönüşürler.

Zaman ≈ 3 dakika: Artık evren protonların ve nötronların birbirleriyle çarpışıp elementleri oluşturabileceği kadar soğumuştur. Bu sürede ^{2}H, ^{3}He, ^{4}He ve ^{7}Li oluşmuştur. Ayrıca bu safhada çok fazla ışıma vardır fakat eskiye oranla alabileceği serbest yol daha azdır çünkü dalgalar atomlarla ve parçacıklarla çarpışmaktadır.

Zaman ≈ 379 000 yıl: Sıcaklık artık 2970 K'e kadar düşmüş, elektronlar çekirdeklere bağlanmış, atomlar oluşmuştur. Işık nötr parçacıklarla etkileşmediği için daha uzun bir ilerleme mesafesine sahip olmuştur. Bu ışıma kozmik arka-

plan ışımasıdır. Hidrojen ve helyum atomları kütleçekim sayesinde bir araya gelip yıldızları ve galaksilerin oluşumunu başlatırlar ve bunun sonucu olarak artık evren daha karanlıktır.

Yıldızlarda ağır elementler nasıl meydana gelmektedir? İkinci sorunun cevabını nötron yıldızlarını örnek alarak verebiliriz. Yıldız çekirdeğinde enerji üretimi termonükleer tepkimelerle gerçekleşir ve yıldızların hidrostatik dengesi bu tepkimelerle sağlanır. Büyük kütleli yıldızlarda hidrojin füzyonu sonucu helyum oluşur ve helyum bir çekirdek meydana gelir. İlk denge helyum çekirdekle sağlanır. Helyum tüketildiğinde çekirdek çöker ve üç helyum çekirdeğinin kaynaşarak bir karbon çekirdeğine dönüştüğü üçlü alfa süreci başlar ve karbon oluşur. Merkezde helyum da bittiğinde kütle çekimi yüzünden bir çökme yaşanır ve iç bölgelerin sıcaklığı artar bu kez de karbon yanmaya başlar ve füzyon ile daha ağır elementler oluşur. Çekirdeğin sıcaklığı yaklaşık 1 milyar Kelvin'e ulaşıncaya kadar yanmaya devam eder. En son safhada demir atomları oluşur ve termonükleer reaksiyonlar bu elementte durur ve artık kütle çekimine karşı daha fazla enerji salınamaz. Eğer yıldız yeterince kütleli ise, yani Chandrasekhar limitini (1.4 Güneş kütlesi) aşıyorsa, elektronların kuantum basıncı da çökmeyi durduramaz ve tekrar bir çökme gerçekleşir. Bu çökmede ortamdaki demir atomları ezilir, protonlar, nötronlar ve elektronlar serbest kalırlar. Akabinde yeğni etkileşmeler yoluyla oluşan

$$p + e^{-} \rightarrow n + \nu_e$$

reaksiyonu ile protonlar elektronları yakalayarak nötronlara ve nötrinolara (solel) dönüşürler. Artık yıldız nötronca zengin olmuştur ve kütle çekim enerjisine karşı direncini nötron yozlaşma basıncından almaktadır. Kısaca bir yıldızın (nötron yıldızı) meydana gelişi ve yıldızın oluşma safhasında ağır elementlerin hafif elementlerden oluşması bu şekildedir.[8,11,12]

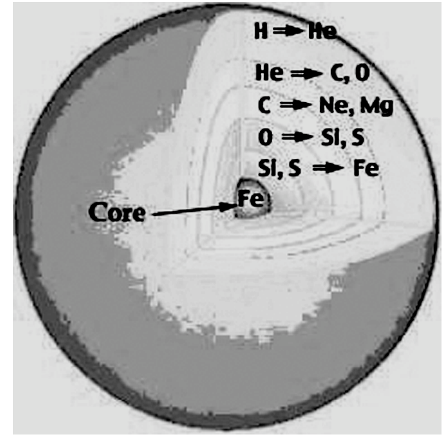
Bütün olay sonuç olarak bir kuantum olasılığına dayanmaktadır. Ancak, gerek bu olasılığın hesabı gerekse evrenin o aşamasının anlaşılması mevcut bilgilerimizle mümkün değildir. Bu bakımdan uzay ve zamanın başlangıç durumları gibi sorular şimdilik fizik-metafizik sınırında kalmayı sürdürecektir.

Zaman ≈ 14 milyar yıl: Bugün etrafımızda bulunan gözlemlenebilen evren 10^{28} cm büyüklüğüne ulaşmış, düz, izotropik ve homojen bir yapıdır. Einstein'ın kütleçekim kuramının mevcut evreni tasvir edebilmesi için evrendeki toplam maddenin yalnızca %4'ü bizler gibi atomlardan oluşmalı, kalan miktarın % 23'ü Karanlık Madde ve % 73'ü de Karanlık Enerji olmalıdır. Bu yapı bugün WMAP ve diğer bir takım çalışmalarda esas alınan modeldir. Karanlık Madde spiral galaksilerin düz dönme eğrilerini açıklamakla kalmaz bizzat yıldızlar gibi yapıların oluşumunda görev alır. Karanlık Enerji ise son evrede evrenin genişlemesindeki hızlanmayı açıklamak için gereken, en basit örneği de Einsten'ın kozmolojik sabiti olan enerji türüdür.

E. Sonuç

Evrenin oluşumu ve gelişimini mevcut bilgiler ışığında özetlemeye çalıştık. Bugünkü evrenle ilgili olarak işleyen bir model olarak Şişmeli Büyük Patlama oldukça güvenilir sonuçlar vermekte, gözlemlerle doğrudan sınanabilmektedir. Öte yandan, gözlemsel kozmoloji WMAP ve diğer birçok uydu ve ortaklıklar yoluyla oldukça yüksek hassasiyet sınırlarına çıkmakta, yapılan gözlemler evrenin doğru modelini ortaya koyacak niteliğe yaklaşmaktadır. Bugün, 7 yıllık veri birikimi ile WMAP evrendeki baryon miktarı ile "karanlık" kısımlar için yüksek hassasiyette sonuçlar verebilecek niteliktedir.

Son olarak bir noktanın yeniden vurgulanması faydalı olabilir. İçinde kendimizi ve çevremizi anlamlandırdığımız



Şekil 5: Bir nötron yıldızı oluşana kadar Helyumdan demire kadar gerçekleşen tepkimeleri gösteren resim.

"uzay" ve "zaman" kavramları Büyük Patlama ile başlamış mefhumlar olarak alınabilir. Son derece yüksek sıcaklık ve yoğunluktaki ve de son derece küçük hacimdeki bir "noktacık" olan evrenin "gümlemesi" için temel etki kuantum dünyasına has kendiliğinden (spontan) patlamadır. Bütün olay sonuç olarak bir kuantum olasılığına dayanmaktadır. Ancak, gerek bu olasılığın hesabı gerekse evrenin o aşamasının anlaşılması mevcut bilgilerimizle mümkün değildir. Bu bakımdan uzay ve zamanın başlangıç durumları gibi sorular şimdilik fizik-metafizik sınırında kalmayı sürdürecektir.

Kaynakça:

1) Lawson, R. M. (2004). Science in the ancient world: an encyclopedia. ABC-CLIO. pp. 29–30. International Standard Book Number" ISBN 1851095349. Retrieved 2 October 2009.

2) Teaching about Evolution and the Nature of Science (National Academy of Sciences, 1998), p.27; also, Don O' Leary, Roman Catholicism and Modern Science: A History (Continuum Books, 2006), p.5.

3) Jedamzik K., Pospelov M., Big Bang Nucleosynthesis and Particle Dark Matter, arXiv:0906.2087v1 [hep-ph] ; Jonathan Allday , Quarks, Leptons and the Big Bang, Second Edition, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, IOP Publishing Ltd 2002

4) Fundamentals of Physics, Halliday/Resnick , 8th edition

5) Penzias, A.A.; Wilson, R.W. (1965). A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. Astrophysical Journal 142: 419

6) Bertschinger, E. ,Cosmological Perturbation Theory and Structure Formation. arXiv:astro-ph/0101009.

7) Liddle, A. An introduction to Modern Cosmology, Second edition.

8) Silk J., A Short History of the Universe, 12 th edition.

9) White M., Big Bang Nucleosynthesis, http://astro.berkeley.edu/~mwhite/darkmatter/bbn.html

10) Fraser G., The New Physics for the Twenty-First Century, Cambridge University Press 2006

11) Esteban-Pretel A., Supernovae as laboratories for neutrino properties, arXiv:0912.1616v1

12) Tosun O., "Kara Fotonlar ve Pulsar İtkileri", Yüksek Lisans Tezi, İYTE 2010.